

**CORRELACIÓN ENTRE EL LÍMITE LÍQUIDO Y EL ÍNDICE DE
COMPRESIBILIDAD EN LAS ARCILLAS DEL DISTRITO DE
BARRANQUILLA**

**CARLOS ALBERTO CERRO ARRIETA
CARLOS RAFAEL CONTRERAS GAMARRA
GUSTAVO GUERRERO MULFORD
FELIX HEBERTO MERCADO FERREIRA**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA**

2002

**CORRELACIÓN ENTRE EL LÍMITE LÍQUIDO Y EL ÍNDICE DE
COMPRESIBILIDAD EN LAS ARCILLAS DEL DISTRITO DE
BARRANQUILLA**

**CARLOS ALBERTO CERRO ARRIETA
CARLOS RAFAEL CONTRERAS GAMARRA
GUSTAVO GUERRERO MULFORD
FELIX HEBERTO MERCADO FERREIRA**

**Proyecto de grado que se presenta como requisito parcial para
optar el título de Ingeniero Civil**

Directores:

**Ing. NAYIB MORENO RODRÍGUEZ
Lic. JAVIER JARAMILLO COLPAS**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA
2002**

AGRADECIMIENTOS

Gracias a DIOS, por habernos dado el espíritu santo, y mantenernos perseverantes, pacientes y actuando con sabiduría para llegar a culminar este proyecto.

Los autores, además, de manera sincera manifiestan su agradecimiento hacia todas las personas que de una manera u otra participaron de este proyecto. Y de manera especial a:

Ing. Nayib Moreno Rodríguez y Lic. Javier Jaramillo Colpas, Directores de este proyecto. Por su interés en hacer de éste, algo de verdad útil y provechoso para la comunidad, por sus buenos consejos y el tiempo que nos dedicaron.

Ing. Lorena Cabas, asesora. Por su constante apoyo y estar siempre disponible cuando la necesitamos.

A Maria Cecilia Ñaños, Laboratorista de Suelos. Por su colaboración, por su tiempo y su dedicación para con nosotros.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este triunfo a mis padres ORNALDO CERRO ARRIETA y MARIA DEL CARMEN ARRIETA C. (q.e.p.d.). por haberme dado desde niño lo mejor de sí y enseñarme la buena senda a seguir.

A mi tía JUDITH ARRIETA por convertirse en mi segunda madre, por brindarme siempre su apoyo y por todos los sacrificios hechos por mí.

A mis hermanos ALICIA, CAROLINA, FERNANDO Y ORNALDO JOSÉ. Por desearme siempre lo mejor y por apoyarme en todo momento.

A mi sobrino DANIEL ALBERTO, un incentivo más para luchar, a mis tíos por su colaboración, a mis primas AUXI, MELINA Y LAURA, por su comprensión y apoyo. A todos mis familiares y amigos.

Y de manera especial lo dedico a mi hija VALERIA SOFÍA y a su mamá DIANA PATRICIA quienes han llenado mi mundo de felicidad y amor. Y son lo más grande y bello que tengo.

CARLOS ALBERTO

DEDICATORIA

Este proyecto de grado se lo dedico especialmente a mis padres RAFAEL CONTRERAS y MARIA GAMARRA, que con su apoyo y dedicación me han hecho este sueño realidad.

A mis hermanas NORMA y YAMITH CONTRERAS GAMARRA, por su comprensión en los momentos difíciles.

A mi sobrino ORLANDO CASTRO CONTRERAS, que me ha estimulado a seguir luchando por cumplir mis objetivos.

A mi novia por brindarme su apoyo incondicional.

Y a todos mis amigos: el DAVID HERAZO, CARLOS CERRO, RAFA LAFONT, CARLOS SLEBI y el JUANCHO MEJIA, por compartir momentos inolvidables de universitario.

A todas estas personas le dedico mi título de Ingeniero Civil.

CARLOS RAFAEL CONTRERAS GAMARRA

DEDICATORIA

A mis padres y a mis hermanos, quienes con todo el cariño y esfuerzo me brindaron todo el apoyo que necesite para lograr culminar mis estudios de ingeniero civil. Ellos que con sus consejos y experiencias vividas me dieron toda la motivación para dedicarme más en el estudio y además lograron enriquecer mi deseo de superarme y esforzarme con mayor responsabilidad para alcanzar las metas propuestas.

También le dedico este esfuerzo a mis adorables sobrinos a los que quiero con toda mi alma y quienes recibirán el mejor apoyo del mundo, de mi y de toda mi familia.

Y a mis compañeros de la universidad quienes de una u otra forma me apoyaron en esta etapa de mi vida.

GUSTAVO GUERRERO MULFORD

DEDICATORIA

En símbolo de agradecimiento dedico éste proyecto de grado a Dios, mis padres EMILIANO MERCADO Y DENIS FERREIRA, quienes fueron los que hicieron posible alcanzar éste gran logro en mi vida profesional.

A mis hermanos JESÚS, HENSOR Y NAYARITH MERCADO que siempre me apoyaron y confiaron en mí.

A mi hijo JESÚS DAVID y mi esposa YULIS ACUÑA que fueron motivo de inspiración para hacer las cosas correctamente durante la profesión.

Al Ingeniero NAYIB MORENO por su espíritu colaborador que me brindó dentro y fuera de la institución para poder salir adelante.

FELIX HEBERTO MERCADO FERREIRA

RESUMEN

Generalmente cuando se plantea una iniciativa pública o privada de realizar una obra civil, se establece un cronograma de actividades en donde inicialmente se requiere la realización de varios estudios preliminares, dentro de los cuales figura en particular, un detallado estudio de suelos. Este estudio de suelos, siempre se subdivide en varios aspectos, dentro de los cuales el cálculo de los asentamientos resulta ser de gran importancia desde el mismo momento de iniciación de obras hasta muchos años después de terminada. Para la determinación de los asentamientos se hace necesario obtener parámetros como el índice de compresibilidad, el cual se determina a partir de un ensayo de consolidación. Cabe destacar que este es un ensayo largo y costoso. El hombre a través de la historia, ha buscado la manera de minimizar el gasto del tiempo y del dinero, y los procesos ingenieriles no han sido la excepción. El hombre en su afán, se ha adentrado en investigaciones que le permitan obtener los parámetros de cálculo, de una manera fácil y rápida, llevándolo a postular modelos matemáticos en donde se correlacionan dos o más variables.

Palabras clave: Análisis de suelos, Asentamiento de los suelos, Físicas de los suelos,

ABSTRACT

Generally when there appears a public or private initiative to realize a civil work, there is established a timetable of activities where initially a detailed soils study needs from itself the achievement of several preliminary studies, inside which it appears in particular. This soils study, it always subdivides in several aspects, inside which the calculation of the establishments turns out to be of big importance from the same moment of beginning of works until many years after finished. For the determination of the establishments it becomes necessary to obtain parameters as the index of compressibility, which decides from a consolidation essay. It is necessary to emphasize that this is a long and costly essay. The man across the history, has looked for the way of minimizing the expense of the time and of the money, and the processes ingenieriles have not been the exception. The man in its emulation, has penetrated in investigations that allow him to obtain the parameters of calculation, of an easy and rapid way, leading it to postulating mathematical models where two or more variables are correlated.

Key words: Soils analysis, Establishment of the soils, Physical of the soils

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. DELIMITACIONES	22
1.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL	22
1.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL	22
2. LIMITACIONES	23
3. MARCOS REFERENCIALES	24
3.1 ANTECEDENTES	24
3.2 FUNDAMENTOS INSTITUCIONALES	26
3.3 FUNDAMENTOS LEGALES	27
3.4 TEORÍAS BÁSICAS DEL PROBLEMA	28
3.4.1 Límites de Atterberg	28
3.4.1.1 Límite Líquido	28
3.4.1.2 Límite plástico	28
3.4.1.3 Límite de Contracción	28
3.4.2 Índice de Compresibilidad	29
3.4.2.1 Compresibilidad y Asentamientos de los Suelos	31
3.4.3 Consolidación	33
3.4.3.1 Asentamientos por Consolidación	33

3.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	34
3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
4. METODOLOGÍA	36
4.1 TIPO DE ESTUDIO	36
4.2 MÉTODO DE ESTUDIO	36
5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	38
5.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN PRIMARIA	38
5.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN SECUNDARIA	39
6. INFORMACIÓN RECOLECTADA	40
6.1 INFORMACIÓN OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE	40
6.2 INFORMACIÓN OBTENIDA DE OTRAS FUENTES	41
6.3 INFORMACIÓN GLOBAL	42
7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	43
7.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN	44
7.2 ANÁLISIS FÍSICO	52
CONCLUSIONES	55
RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXO	60

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Operación de variables	35
Cuadro 2. Resumen de los ensayos realizados en laboratorio	40
Cuadro 3. Resumen de los ensayos obtenidos de otras fuentes	41
Cuadro 4. Relación Límite Líquido – Índice de compresibilidad	42
Cuadro 5. Cálculos de las variables	45
Cuadro 6. Información depurada del análisis	47
Cuadro 7. Comparación entre las correlaciones existentes	51
Cuadro 8. Resumen de cálculos de los asentamientos	53

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Definición de los Límites de Atterberg.

29

Figura 2. Curva típica de consolidación.

30

Figura 3. Interpretación de la compresibilidad usando un modelo de suelo.

32

Figura 4. Ubicación de los puntos de Límite Líquido vs. Índice de Compresibilidad.

43

Figura 5. Rectas producto del análisis matemático.

46

Figura 6. Rectas producto del análisis matemático con los datos depurados.

48

Figura 7. Gráfica de la recta determinada con los puntos que la originaron.

50

LISTA DE ANEXOS

	pag.
ANEXO A. Formatos de cálculo de contenido de humedad natural	60
ANEXO B. Formatos de cálculo de gravedad específica	84
ANEXO C. Formatos de cálculo de los límites de consistencia y gradación	108
ANEXO D. Datos del ensayo de consolidación	132
ANEXO E. Experimento de consolidación (lecturas diarias)	156
ANEXO F. Ensayo de consolidación. Formatos de cálculo	204
ANEXO G. Curvas de consolidación	228
ANEXO H. Plano de Barranquilla	252
ANEXO I. Plano de Campo Alegre	253

GLOSARIO

ARCILLA: son suelos de grano fino con cierta plasticidad, con tamaños menores de 0.002mm.

ASENTAMIENTO: es la variación de presión intersticial que obliga al agua a moverse a través del suelo, con lo cual las propiedades de éste varían con respecto al tiempo, por efecto de la aplicación de una carga.

COMPRESIBILIDAD: es la reducción del volumen de un suelo por efecto de la aplicación de una carga.

CONTENIDO DE HUMEDAD: es la relación que existe entre el peso del agua y el peso de los sólidos presente en una masa de suelo, expresada en porcentaje.

CORRELACIÓN: relación recíproca entre dos o más parámetros.

ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD: pendiente del tramo recto de la curva de consolidación virgen.

GRANULOMETRÍA: es la distribución relativa de los diferentes tamaños de grano presente en una masa de suelo.

GRAVEDAD ESPECIFICA: es la relación que existe entre el peso seco del sólido y el peso del agua.

HUMEDAD: es la relación en porcentaje entre peso del agua y el peso de los sólidos en una muestra de suelo.

LÍMITE LÍQUIDO: es el contenido de humedad en el cual el suelo deja de ser plástico para convertirse en un fluido viscoso.

LÍMITE PLÁSTICO: es el contenido de humedad en el cual el suelo pasa de semisólido a un estado plástico.

INTRODUCCIÓN

Generalmente cuando se plantea una iniciativa pública o privada de realizar una obra civil, se establece un cronograma de actividades en donde inicialmente se requiere la realización de varios estudios preliminares, dentro de los cuales figura en particular, un detallado estudio de suelos.

Este estudio de suelos, siempre se subdivide en varios aspectos, dentro de los cuales el cálculo de los asentamientos resulta ser de gran importancia desde el mismo momento de iniciación de obras hasta muchos años después de terminada.

Para la determinación de los asentamientos se hace necesario obtener parámetros como el índice de compresibilidad, el cual se determina a partir de un ensayo de consolidación. Cabe destacar que este es un ensayo largo y costoso.

El hombre a través de la historia, ha buscado la manera de minimizar el gasto del tiempo y del dinero, y los procesos ingenieriles no han sido la excepción. El hombre en su afán, se ha adentrado en

investigaciones que le permitan obtener los parámetros de cálculo, de una manera fácil y rápida, llevándolo a postular modelos matemáticos en donde se correlacionan dos o más variables. Para la determinación del índice de compresibilidad, se han postulado varios modelos que lo relacionan con otros parámetros de los suelos como el límite líquido, contenido de humedad, gravedad específica o la relación de vacíos inicial.

En esta investigación se determina una correlación entre el límite líquido y el índice de compresibilidad en las arcillas del Distrito de Barranquilla. Buscando así que la comunidad académica y profesional de esta región, cuente con un mecanismo para la determinación de los asentamientos de una manera práctica y que goce de una alta confiabilidad.

SOLICITUD DE APROBACIÓN DE PROYECTO

Junio 24 del 2002.

Señor
Ing. NAYIB MORENO
DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
Ciudad

Por medio de la presente estamos sometiendo a su consideración la solicitud para la aprobación del trabajo de grado titulado:

CORRELACIÓN ENTRE EL LÍMITE LÍQUIDO Y EL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD EN LAS ARCILLAS DEL DISTRITO DE BARRANQUILLA

Como requisito parcial para optar el título de **INGENIERO CIVIL** en la Facultad de Ingenierías de la Corporación Universitaria de la Costa, CUC.

Adjuntamos a la presente la documentación requerida, debidamente diligenciada para su estudio.

Cordialmente.

CARLOS ALBERTO CERRO ARRIETA
GAMARRA

CARLOS RAFAEL CONTRERAS

GUSTAVO GUERRERO MULFORD
FERREIRA

FELIX HEBERTO MERCADO

ESPACIO RESERVADO PARA LA FACULTAD

Fecha de entrega de la solicitud para aprobación:

¿Solicitud aprobada? ☐ SI ☐ NO

Fecha _____

Observaciones:

ING. NAYIB MORENO
DIRECTOR PROGRAMA DE ING. CIVIL
APROBACIÓN DE PROYECTO POR PARTE DE DIRECTORES

Junio 24 del 2002.

Señor
Ing. NAYIB MORENO
DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
Ciudad

Los abajo firmantes directores del trabajo dirigido titulado:

**CORRELACIÓN ENTRE EL LÍMITE LÍQUIDO Y EL ÍNDICE DE
COMPRESIBILIDAD EN LAS ARCILLAS DEL DISTRITO DE BARRANQUILLA**

Certificamos que el PROYECTO ha sido evaluado, lográndose los alcances establecidos en el anteproyecto.

Cordialmente:

DIRECTORES

ING. NAYIB MORENO RODRÍGUEZ

LIC. JAVIER JARAMILLO COLPAS

APROBACIÓN DE PROYECTO POR PARTE DE ASESORES

Junio 24 del 2002.

Señor
Ing. NAYIB MORENO
DIRECTOR PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
Ciudad

Los abajo firmantes directores del trabajo dirigido titulado:

CORRELACIÓN ENTRE EL LÍMITE LÍQUIDO Y EL ÍNDICE DE COMPRESIBILIDAD EN LAS ARCILLAS DEL DISTRITO DE BARRANQUILLA

Certificamos que el PROYECTO ha sido evaluado, lográndose los alcances establecidos en el anteproyecto.

Cordialmente:

ASESOR TÉCNICO

ING. LORENA CABAS

ASESOR METODOLÓGICO

ING. DIANA DE LA OSSA

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla. Junio 24 del 2002

1. DELIMITACIONES

1.1 DELIMITACIÓN ESPACIAL

La presente investigación se realiza en el laboratorio de mecánica de suelo de la Corporación Universitaria de la Costa. Las muestras ensayadas corresponden al barrio Campo Alegre del Distrito de Barranquilla, fue aquí donde se realizaron todos los ensayos que el grupo de investigadores plasma en el proyecto como información obtenida experimentalmente. Además, se recopiló información de investigaciones anteriores realizadas en sectores del área urbana de la ciudad tales como, Villa Santos, El Bosque, Caujaral y Las Terrazas.

1.2 DELIMITACIÓN TEMPORAL

Los ensayos presentados como datos experimentales, se realizaron entre Enero y Junio del año 2002. Los datos presentados como correspondientes a otras fuentes fueron realizados entre Octubre de 1980 y Julio de 1981.

2. LIMITACIONES

Una de las limitantes que se puede destacar en el desarrollo del proyecto, fue la presencia de un solo consolidómetro en los laboratorios de la institución, lo que impidió la realización de ensayos simultáneos, y esto afectó la producción de un mayor número de ensayos en el tiempo disponible.

Otra de las limitantes que se puede destacar fue la utilización del equipo de consolidación por parte de los docentes para el desarrollo de su clase afectando así la disponibilidad de éste para el uso de la investigación.

En cuanto a lo financiero, la falta de recursos, imposibilitó la contratación de los ensayos con algún laboratorio particular. De haber sido posible se podría haber suplido la falta de otro consolidómetro.

3. MARCOS REFERENCIALES

3.1 ANTECEDENTES

Se han realizado diferentes investigaciones que tienen que ver directamente con la relación que existe entre el Índice de Compresibilidad y cualquier otro parámetro de los suelos. El punto de partida de estas investigaciones tiene lugar en 1967 cuando el Señor Karl Terzaghi y su ayudante Ralf Peck propusieron la relación empírica para el Índice de Compresibilidad, para arcillas inalteradas, su relación es $C_c = 0.009(LL - 10)$, donde LL es Límite Líquido y está expresado en porcentaje.

En tiempos posteriores algunos otros autores e investigadores han formulado sus propias correlaciones para determinar el índice de compresibilidad, es el caso de Rendón-Herrero, que en 1980 plantearon con base en sus observaciones de varias arcillas

naturales que: $C_c = 0.141G_s^{1.2} \left(\frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2.38}$.

Donde:

G_s = Gravedad específica

e_0 = relación de vacíos inicial.

Más tarde en el año de 1985, los señores Nagaraj y Murty, expresaron el Índice de Compresibilidad como:

$$C_c = 0.2343 \left[\frac{LL}{100} \right] G_s.$$

Para el caso Colombiano se tiene la correlación hecha por Álvaro Millán Ángel, quien expresa el $C_c = 0.0017(LL + 129)$ él formuló su hipótesis luego de estudiar las arcillas de origen volcánico en el eje cafetero.

En el caso de esta investigación (en el del Distrito de Barranquilla), se tiene conocimiento de dos relaciones. En 1981 en la investigación para un proyecto de grado en la Corporación Universitaria de la Costa los señores Gustavo Villa y Sigifredo Lleras, propusieron la relación $C_c = 0.0029(LL + 14)$. Y posteriormente en el año de 1983 los Ingenieros Arnoldo Sabbagh y Antonio Marimón expresaron el índice de Compresión como: $C_c = 0.003(LL + 14)$.

3.2 FUNDAMENTOS INSTITUCIONALES

El centro de investigaciones de la Corporación Universitaria de la Costa –CUC-. Posee una normatividad para programas que adelanten el cumplimiento de sus propósitos investigativos, de extensión o proyección social y de consultaría.

En la misión, la institución y el programa de Ingeniería Civil, procuran formar individuos con vocación por la investigación, idóneos y concientes de sus deberes profesionales, por tal motivo, la universidad debe proyectarse y extenderse de manera permanente a la comunidad regional, para detectar problemas, analizarlos crítica y científicamente, y derivar alternativas de solución. La universidad debe estar allí donde el desarrollo lo requiere, anticipándose a los problemas, adelantándose a las vivencias del presente con el propósito de contribuir a definir la sociedad del futuro.

Dentro del programa de Ingeniería Civil, de la Corporación Universitaria de la Costa, existe una línea de investigación donde se promueve la caracterización geotécnica de los suelos en la Costa Atlántica, es por ello que se requiere buscar los mecanismos para facilitar la obtención de las propiedades índices de los suelos. La investigación sobre una correlación entre el Límite Líquido y el Índice

de compresibilidad en las arcillas del distrito de Barranquilla, esta encaminada a facilitar esa caracterización de los suelos de la Costa Atlántica.

3.3 FUNDAMENTOS LEGALES

Los estudios geotécnicos como tales, se encuentran reglamentados por el Decreto 33 de Enero 9 de 1998 (NSR-98). La cual en su TÍTULO H establece los alcances de la exploración y programa de ensayos de laboratorio, en él se manifiestan los lineamientos para realizar un diseño geotécnico adecuado.

La seguridad para el estado límite de servicio resulta de la determinación de los asentamientos inmediatos, los asentamientos por consolidación, los asentamientos secundarios y los asentamientos por sismo. La evaluación de los asentamientos debe realizarse mediante modelos de aceptación generalizada empleando parámetros de deformación obtenidos a partir de ensayos de laboratorio o correlaciones de campo suficientemente apoyadas en la experiencia.

3.4 TEORÍAS BÁSICAS DEL PROBLEMA

3.4.1 Límites de Atterberg. Cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un *semilíquido*. Sí el suelo es secado gradualmente, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua. Éste, en porcentaje, con el que el suelo cambia de un estado plástico a un estado líquido se define como *límite líquido* (LL). Igualmente, los contenidos de agua, en porcentaje, con el que el suelo cambia de un estado semisólido a un plástico y de un sólido a un semisólido se definen como el límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC), respectivamente.

3.4.1.1 Límite Líquido. Es determinado con la casuela de Casagrande y se define como el contenido de humedad con el cual se cierra una ranura de 12.7 mm mediante 25 golpes.

3.4.1.2 Límite Plástico. Se define como el contenido de humedad con el cual el suelo se agrieta al formarse un rollito de 3 mm de diámetro.

3.4.1.3 Límite de Contracción. Se define como el contenido de humedad con el cual el suelo no sufre ningún cambio adicional de volumen por la pérdida de agua.

Estado

Estado

Estado

Estado

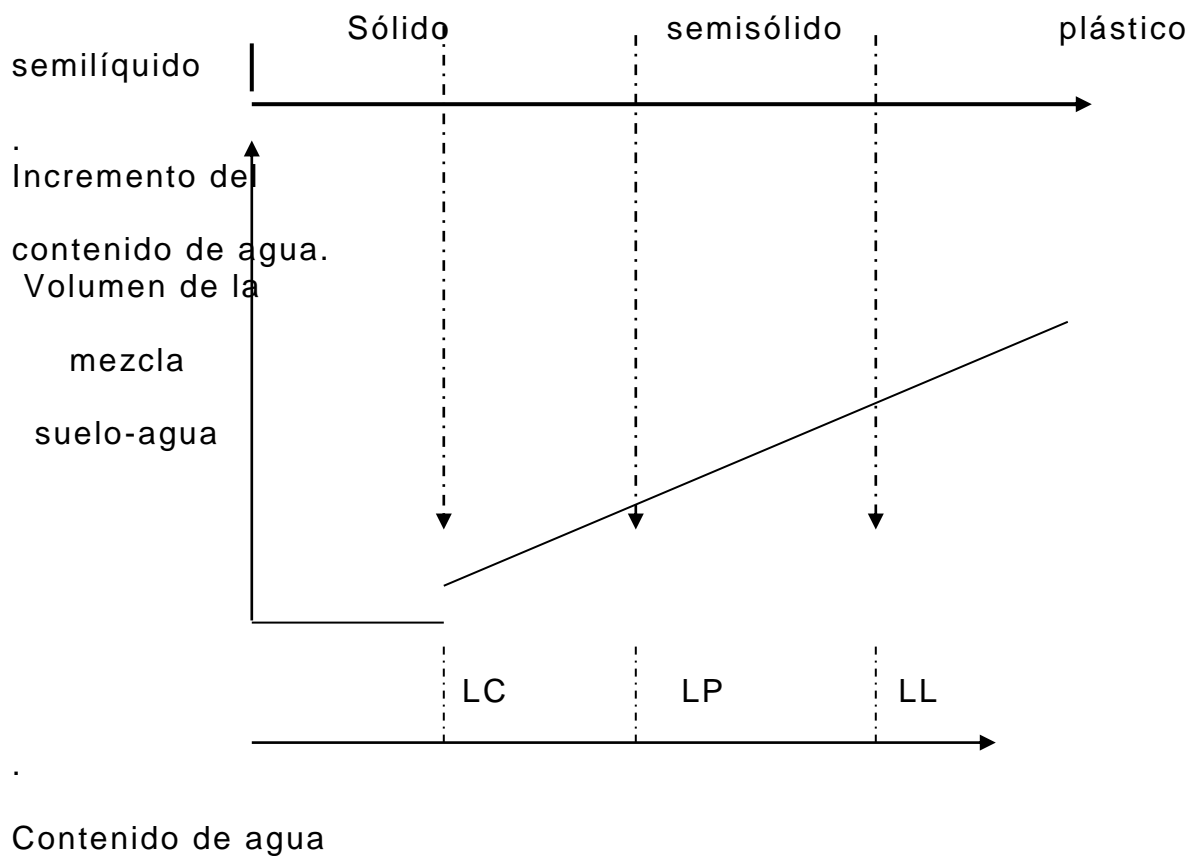


Figura 1. Definición de los Límites de Atterberg

3.4.2 Índice de Compresibilidad. Cuando se traza una curva de la relación de vacíos (e) en función de las cargas aplicadas ($\log \sigma'$) a partir de los resultados experimentales, se encuentra que la porción virgen de la curva de consolidación es casi una línea recta. La parte curvada inicial representa la preconsolidación; mientras más larga sea esta curva inicial, mayor será el grado de preconsolidación. Cuando se aplica una secuencia de expansión y recompresión, la curva debe coincidir con la curva virgen en el mismo punto. La

pendiente de la curva virgen recta recibe el nombre de *índice de compresión* (C_c):

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} = \frac{e_0 - e_1}{\log(\sigma'_1 / \sigma'_0)}$$

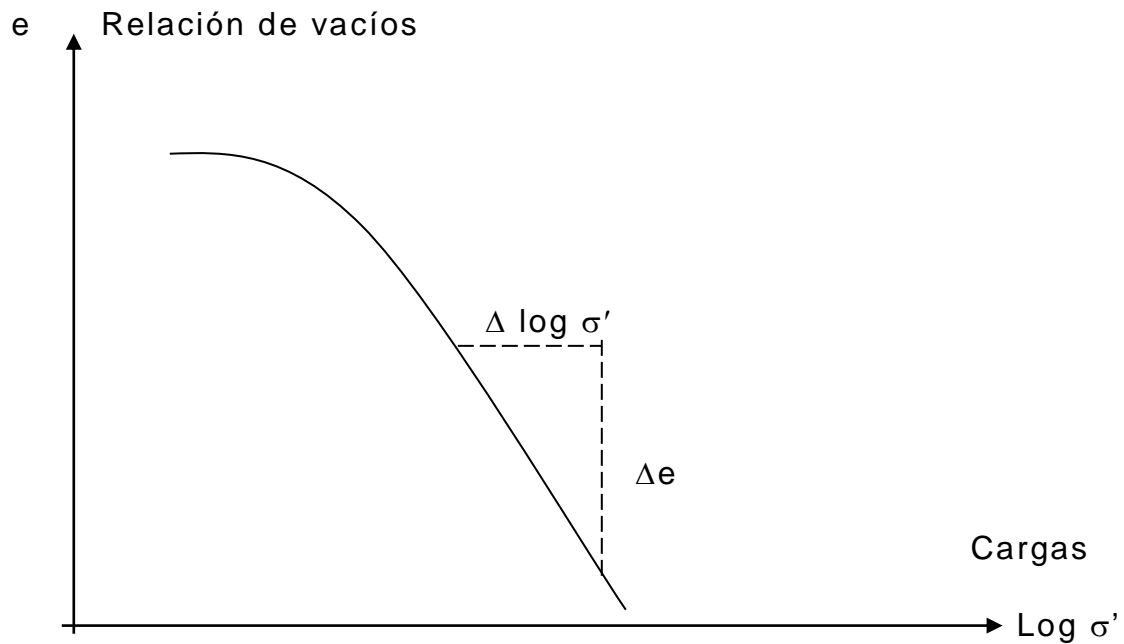


Figura 2. Curva típica de consolidación

El índice de compresibilidad de un suelo determinado puede considerarse como constante para los cálculos de asentamiento, siempre y cuando el intervalo de valores del esfuerzo efectivo que está involucrado, este situado entre los límites de la porción virgen; esto es, que actúe como una arcilla normalmente consolidada. El asentamiento por consolidación se determina por:

$$s_c = \frac{Cc}{1+e_0} \log(\sigma'_1 / \sigma'_0) H_0$$

3.4.2.1 Compresibilidad y Asentamiento de los Suelos. En el estudio de la consolidación, un suelo puede considerarse como un esqueleto compresible de partículas minerales. Si también se supone que el suelo permanece saturado a lo largo de todo el proceso de consolidación, se puede decir que la disminución de volumen que se produce es igual al volumen del agua que se expulsa hacia fuera, y que éste está representado por la variación de la relación de vacíos. Considérese el modelo de muestra de suelo sometido a un aumento de esfuerzo efectivo como el de la Figura 2. Se supondrá que el proceso es *unidimensional*, esto es, no hay cambio de las dimensiones laterales y solo se modifica el espesor. La variación de volumen (ΔV) que resulta del aumento del esfuerzo efectivo ($\Delta \sigma'$) puede, por tanto, representarse en forma idealizada ya sea con el cambio de espesor (ΔH) o el cambio de la relación de vacíos (Δe), con lo que las deformaciones volumétricas se pueden igualar de la siguiente forma:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

por consiguiente la variación de espesor de una capa con un espesor inicial H_0 es:

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} * H_0$$

Resulta evidente que la deformación volumétrica también es una función del aumento del esfuerzo, por lo que la magnitud del *asentamiento por consolidación* puede obtenerse a partir de:

$$s_c = \Delta H = mv \Delta \sigma' H_0$$

Donde:

mv = coeficiente de compresibilidad volumétrica.

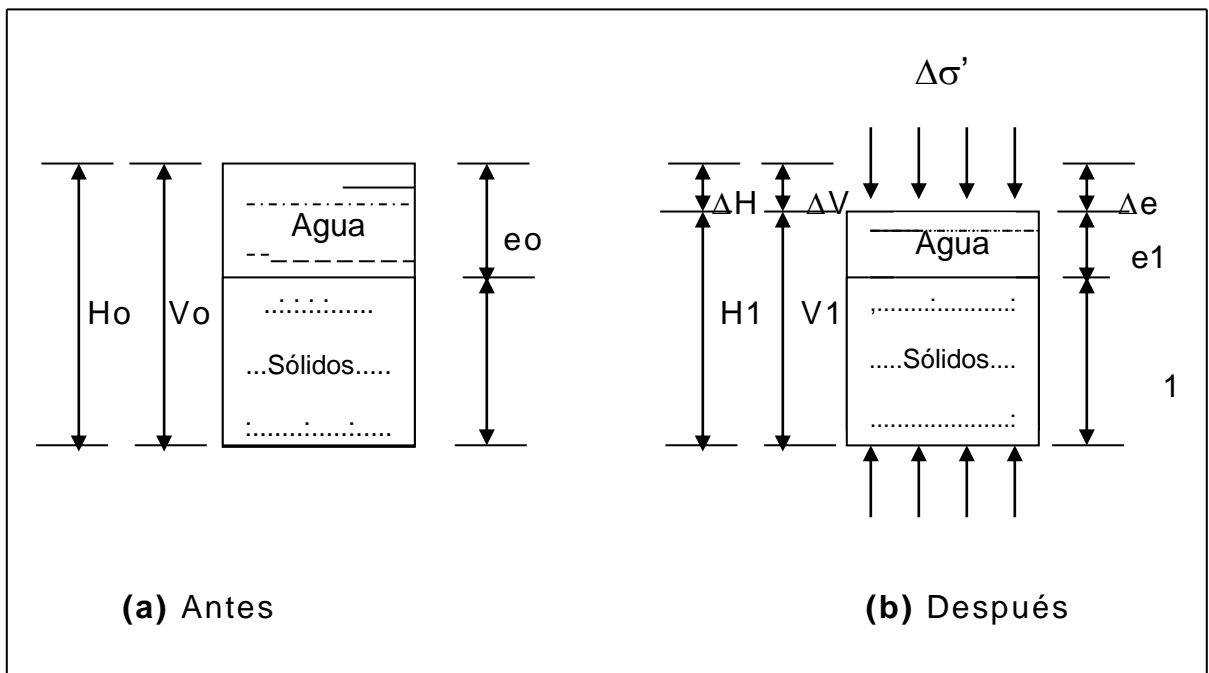


Figura 3. Interpretación de la compresibilidad usando un modelo de suelo.

3.4.3 Consolidación. En suelos cohesivos saturados, el efecto del aumento de la carga consiste en expulsar algo de agua en los poros; a este proceso se le llama *consolidación*. Se presenta, entonces, una reducción gradual del volumen hasta que se alcanza la presión interna de equilibrio; una reducción de la carga puede causar expansión, cuando el suelo está en estado de saturación.

Debe recordarse que se requiere una modificación de la carga para iniciar el proceso y que pueden transcurrir varios años hasta llegar al asentamiento final.

Los suelos más susceptibles suelen ser las arcillas y limos normalmente consolidados y ciertos tipos de rellenos saturados. Las turbas pueden ser altamente compresibles, ocasionando cambios del espesor de los estratos tan grandes como 20% con cargas bastante modestas.

3.4.3.1 Asentamiento por consolidación. En el proceso natural de la deposición, los suelos de grano fino, como los limos y arcillas, quedan sometidos a un proceso de consolidación, en el cual el agua entre las partículas va siendo expulsada por el peso de las capas que

se depositan por encima, después de un periodo se alcanza un estado de equilibrio y la compresión termina. Se dice entonces que un suelo está totalmente consolidado cuando su volumen permanece constante bajo la acción de un estado de esfuerzo constante. Un suelo normalmente consolidado es aquel en el cual las condiciones actuales corresponden a su presión de consolidación final o extrema. Cuando un suelo esta sometido a una sobrecarga que es inferior a la presión extrema de consolidación que existió en algún momento del pasado, se dice que está preconsolidado. Cuando se presenta un cambio en las condiciones del esfuerzo, se tiene que alcanzar un nuevo estado de equilibrio.

Al considerar la mecánica de la compresión de los suelos, se puede suponer que tanto los granos minerales como el agua de los poros son incompresibles. De esta manera, el efecto inmediato de un aumento del esfuerzo total, consiste en una elevación de la presión del agua en los poros. A medida que el agua de los poros va saliendo del suelo, este aumento de presión se disipa con lentitud. Cuando se ha disipado la totalidad del aumento de la presión del agua en los poros, el suelo vuelve a estar totalmente consolidado.

3.5 FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

¿El límite líquido y el índice de compresibilidad para las arcillas del Distrito de Barranquilla son correlacionables con un modelo lineal?

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Cuadro 1. Operación de variables

Variables Independientes	Variables dependientes	Indicadores
Límite Líquido	Contenido de humedad Cohesión del suelo	Clasificación del suelo
Índice de Compresibilidad	Relación de asentamiento	Capacidad portante del suelo
Correlación Lineal	Relación de variables. Método de los mínimos cuadrados	Porcentaje de confiabilidad. Para predecir el asentamiento a partir de LL

4. METODOLOGÍA

4.1 TIPO DE ESTUDIO

Dado el propósito y objeto de la investigación, se ha establecido que es de carácter experimental.

4.2 MÉTODO DE ESTUDIO

La metodología a utilizar para llevar esta investigación a cabo se fundamenta en la aplicación teórico-práctica. En donde se confrontaran conceptos preestablecidos a la realización de ensayos con una visión encaminada a la obtención de parámetros que pueden ser utilizados con cierto grado de confiabilidad en el medio ingenieril.

Para la obtención de los parámetros en estudio, es necesario realizar una serie de ensayos de laboratorio que sirven como soporte para lograr dicho objetivo. Dentro de estos ensayos se encuentran:

Contenido de humedad, Consolidación, Límites atterberg (Líquido y Plástico), Gravedad Específica, Granulometría, Sedimentación (Hidrómetro). Los cuales se relacionan con un modelo matemático, por lo que se tiene un método de estudio deductivo, desde lo experimental y lo analítico.

5. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

5.1 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN PRIMARIA

La obtención de las muestras inalteradas se realizó por medio de apíques a cielo abierto, en los cuales se tomaron muestras desde 1mt a 2.0 mts de profundidad, con un tamaño de 15 x 15 x 15 cms; estas muestras eran guardadas en cajas de madera previamente parafinadas con el objeto de preservar la humedad natural de las muestras.

De las cajas se extraía la muestra en el anillo que se probaría en el consolidómetro; en el mismo instante se extraía una representación de la muestra para determinar el contenido de humedad con el que se realizaba ese ensayo; el material restante se extendía hasta secarse para luego tamizarlo y proceder a realizar los otros ensayos como son granulometría, Límites de Atterberg, hidrómetro, gravedad específica.

5.2 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN SECUNDARIA

Lo que se ha hecho para la recolección de información de otras fuentes, distintas a las experimentales, es una investigación importante llevada a cabo principalmente en la biblioteca con que cuenta la institución, a demás de otras bibliotecas universitarias y Distritales. Se ha obtenido de esta investigación una importante información que se ha de anexar a la obtenida experimentalmente.

6. INFORMACIÓN RECOLECTADA

6.1 INFORMACIÓN OBTENIDA EXPERIMENTALMENTE

En el Cuadro 2, se muestran de manera clara los resultados que se han obtenido de los ensayos practicados en el laboratorio a las muestras que se extrajeron, en el sector de Campo alegre.

Cuadro 2. Resumen de los ensayos realizados en laboratorio.

N° Ensayo	%wn	Gs	Límites		Consolidación	
			LP	LL	Cc	eo
1	28,66	2,61	20,7	78,06	0,2189	0,9377
2	28,58	2,6	25,07	69,72	0,2569	1,0836
3	27,96	2,62	27,62	62,17	0,0952	0,824
4	21,88	2,63	17,55	56,5	0,1907	0,8642
5	15,74	2,61	16,59	48,51	0,1285	0,3772
6	17,69	2,61	15,62	56,78	0,1099	0,5955
7	19,55	2,64	9,28	55,11	0,1265	0,7014
8	22,07	2,83	17,78	69,33	0,1586	1,0634
9	25,91	2,75	21,39	57,44	0,1615	1,0577
10	26,99	2,61	19,7	67,5	0,1829	1,0207
11	24,57	2,74	16,41	58,67	0,2257	0,9911
12	17,32	2,79	20,25	56,06	0,1207	0,6986
13	23,8	2,77	21,17	56,78	0,2121	1,1262
14	28,09	2,81	21,25	63,39	0,1362	1,1116
15	27,11	2,65	23,37	74,06	0,1576	0,9746
16	16,24	2,7	27,95	66,78	0,1646	0,6217
17	20,09	2,6	23,17	65,22	0,1382	0,7349
18	25,54	2,62	25,83	70,72	0,1547	0,8892
19	27,92	2,73	27,48	67,67	0,251	1,203
20	25,47	2,67	25,2	65,28	0,2394	1,0143
21	22,71	2,76	25,67	68,35	0,1863	0,922
22	18,68	2,77	18,07	57,82	0,1586	0,8208

23	24,36	2,8	19,06	60,75	0,1148	0,9601
----	-------	-----	-------	-------	--------	--------

6.2 INFORMACIÓN OBTENIDA DE OTRAS FUENTES

La información que se ha obtenido de otras fuentes tiene que ver, en primer lugar, con ensayos de laboratorio realizados con anterioridad por investigadores o por firmas independientes de ingenieros. Estos ensayos se utilizan como complemento y para enriquecer el universo estadístico para realizar los cálculos y obtener el modelo producto de la correlación. Los resultados de esta información se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Resumen de los ensayos obtenidos de otras fuentes.

N° Ensayo	%wn	Gs	Limites	Consolidación	
			LL	Cc	eo
1	14,55	2,7	38,55	0,207	0,7265
2	13,77	2,79	41,55	0,1312	0,5985
3	14,78	2,73	39,8	0,1668	0,6499
4	15,45	2,71	63,68	0,202	0,7241
5	27,96	2,75	56,91	0,2411	1,0012
6	30,59	2,77	82,36	0,2379	0,8811
7	46,51	2,68	99,64	0,2611	1,5246
8	37,63	2,74	94,3	0,3405	1,6364
9	44,58	2,71	94,47	0,4132	1,6652
10	20,57	2,69	53,44	0,3086	1,0206
11	35,55	2,6	53	0,1654	0,435
12	32,87	2,76	49	0,0914	0,5962
13	29,63	2,68	81,8	0,2709	0,9984

6.3 INFORMACIÓN GLOBAL

Se agrupa la conformación de Cc y LL. Valores con los que se busca determinar la correlación.

Cuadro 4. Relación Límite Líquido-Índice de Compresibilidad

No. De ensayo	LÍMITE LÍQUIDO	Cc
1	78,06	0,2189
2	69,72	0,2569
3	62,17	0,0952
4	56,5	0,1907
5	48,61	0,1285
6	56,78	0,1099
7	55,11	0,1265
8	69,33	0,1586
9	57,44	0,1615
10	67,5	0,1829
11	58,67	0,2257
12	56,06	0,1207
13	56,78	0,2121
14	63,39	0,1362
15	74,06	0,1576
16	66,78	0,1646
17	65,22	0,1382
18	70,72	0,1547
19	67,67	0,251
20	65,28	0,2394
21	68,35	0,1863
22	57,82	0,1586
23	60,75	0,1148
24	38,55	0,207
25	41,55	0,1312
26	39,8	0,1668
27	63,68	0,202
28	56,91	0,2411
29	82,36	0,2379
30	99,64	0,2611
31	94,3	0,3405
32	94,47	0,4132
33	53,44	0,3086

34	53	0,1654
35	49	0,0914
36	81,8	0.2709

7. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información contenida en el cuadro 4. Es sometida a un análisis gráfico, de donde se generan una cantidad de puntos igual al número de datos que se tienen como muestra estadística. El gráfico que resulta, se puede observar en la figura 4.

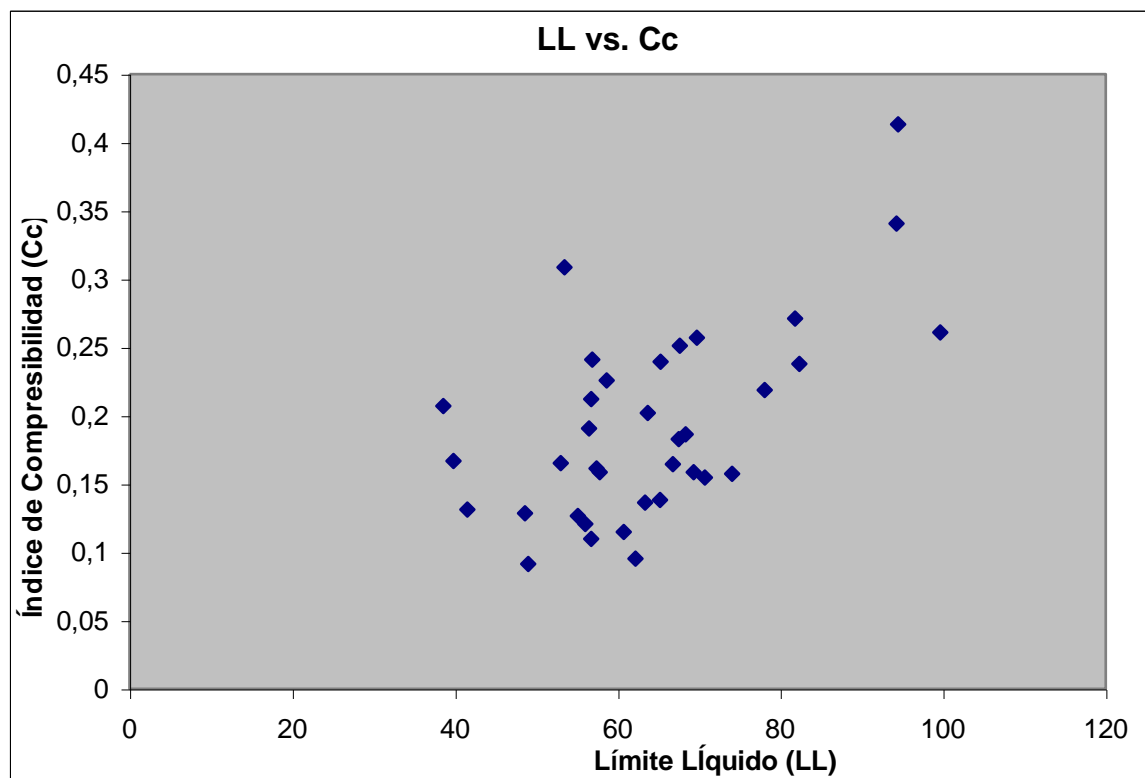


Figura 4. Ubicación de los puntos de Límite Líquido vs. Índice de Compresibilidad

7.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN

La información señalada antes, se somete a un análisis matemático, en busca de la ecuación de la recta que se ajuste. Esto se realiza haciendo uso del método lineal de los mínimos cuadrados, cuya estructura tiene la forma $Y = mX + b$. En donde:

Y: Índice de Compresibilidad

X: Límite Líquido

m: Pendiente de la recta

b: Intercepto de la línea

Para llegar a esta ecuación se debe realizar el análisis que parte de las siguientes ecuaciones:

$$(1) \Sigma Y = m\Sigma X + nb \quad n = \text{número de datos}$$

$$(2) \Sigma YX = m\Sigma X^2 + b\Sigma X$$

$$\%error = \frac{\sum (Y_{calculados} - Y_{experimentales})}{n}$$

En el cuadro 5 se muestran los cálculos realizados con los datos que se tienen de información recolectada.

Cuadro 5. cálculos de las variables

N°.	X	Y	X*Y	X ²
1	78,06	0,2189	17,087334	6093,3636
2	69,72	0,2569	17,911068	4860,8784
3	62,17	0,0952	5,918584	3865,1089
4	56,5	0,1907	10,77455	3192,25
5	48,61	0,1285	6,246385	2362,9321
6	56,78	0,1099	6,240122	3223,9684
7	55,11	0,1265	6,971415	3037,1121
8	69,33	0,1586	10,995738	4806,6489
9	57,44	0,1615	9,27656	3299,3536
10	67,5	0,1829	12,34575	4556,25
11	58,67	0,2257	13,241819	3442,1689
12	56,06	0,1207	6,766442	3142,7236
13	56,78	0,2121	12,043038	3223,9684
14	63,39	0,1362	8,633718	4018,2921
15	74,06	0,1576	11,671856	5484,8836
16	66,78	0,1646	10,991988	4459,5684
17	65,22	0,1382	9,013404	4253,6484
18	70,72	0,1547	10,940384	5001,3184
19	67,67	0,251	16,98517	4579,2289
20	65,28	0,2394	15,628032	4261,4784
21	68,35	0,1863	12,733605	4671,7225
22	57,82	0,1586	9,170252	3343,1524
23	60,75	0,1148	6,9741	3690,5625
24	38,55	0,207	7,97985	1486,1025
25	41,55	0,1312	5,45136	1726,4025
26	39,8	0,1668	6,63864	1584,04
27	63,68	0,202	12,86336	4055,1424
28	56,91	0,2411	13,721001	3238,7481
29	82,36	0,2379	19,593444	6783,1696
30	99,64	0,2611	26,016004	9928,1296
31	94,3	0,3405	32,10915	8892,49
32	94,47	0,4132	39,035004	8924,5809
33	53,44	0,3086	16,491584	2855,8336
34	53	0,1654	8,7662	2809
35	49	0,0914	4,4786	2401
36	81,8	0,2709	22,15962	6691,24
SUMATORIA	2301,27	6,9266	463,86513	154246,46

Con las ecuaciones (1) y (2), se obtienen las incógnitas m y b.

$m = 0.00295363$, $b = 0.00359739$, % de error $= 0.04636608$ y el índice de correlación de $r = 0.59512146$

Con estos datos se construyen las rectas correspondientes a $Y = mX + b$, $Y = (mX + b) + \%$ error y $Y = (mX + b) - \%$ error.



Figura 5. Rectas producto del análisis matemático.

Una vez obtenidas las ecuaciones anteriores, se procede a depurar la información, eliminando los puntos que se encuentren fuera de la banda de $Y=(mX +b) + \% \text{ error}$ y $Y=(mX +b) - \% \text{ error}$. Y se tiene el siguiente cuadro de datos, con sus respectivos cálculos.

Cuadro 6. Información depurada del análisis.

Nº.	X	Y	XY	X ²
1	78,06	0,2189	17,08733	6093,364
2	69,72	0,2569	17,91107	4860,878
3	56,5	0,1907	10,77455	3192,25
4	48,61	0,1285	6,246385	2362,932
5	56,78	0,1099	6,240122	3223,968
6	55,11	0,1265	6,971415	3037,112
7	69,33	0,1586	10,99574	4806,649
8	57,44	0,1615	9,27656	3299,354
9	67,5	0,1829	12,34575	4556,25
10	58,67	0,2257	13,24182	3442,169
11	56,06	0,1207	6,766442	3142,724
12	66,78	0,1646	10,99199	4459,568
13	67,67	0,251	16,98517	4579,229
14	65,28	0,2394	15,62803	4261,478
15	68,35	0,1863	12,73361	4671,723
16	57,82	0,1586	9,170252	3343,152
17	41,55	0,1312	5,45136	1726,403
18	39,8	0,1668	6,63864	1584,04
19	63,68	0,202	12,86336	4055,142
20	82,36	0,2379	19,59344	6783,17
21	99,64	0,2611	26,016	9928,13
22	53	0,1654	8,7662	2809
23	81,8	0,2709	22,15962	6691,24
SUMATORIA	1461,51	4,316	284,854858	96909,9243

Con los datos del cuadro 7, nuevamente se calculan las magnitudes de m y b, resultando:

$m=0.0245258$, $b=0.03624973$, $\%error=0.02748347$ y $r=0.71237557$.

Obteniendo así la siguiente figura:

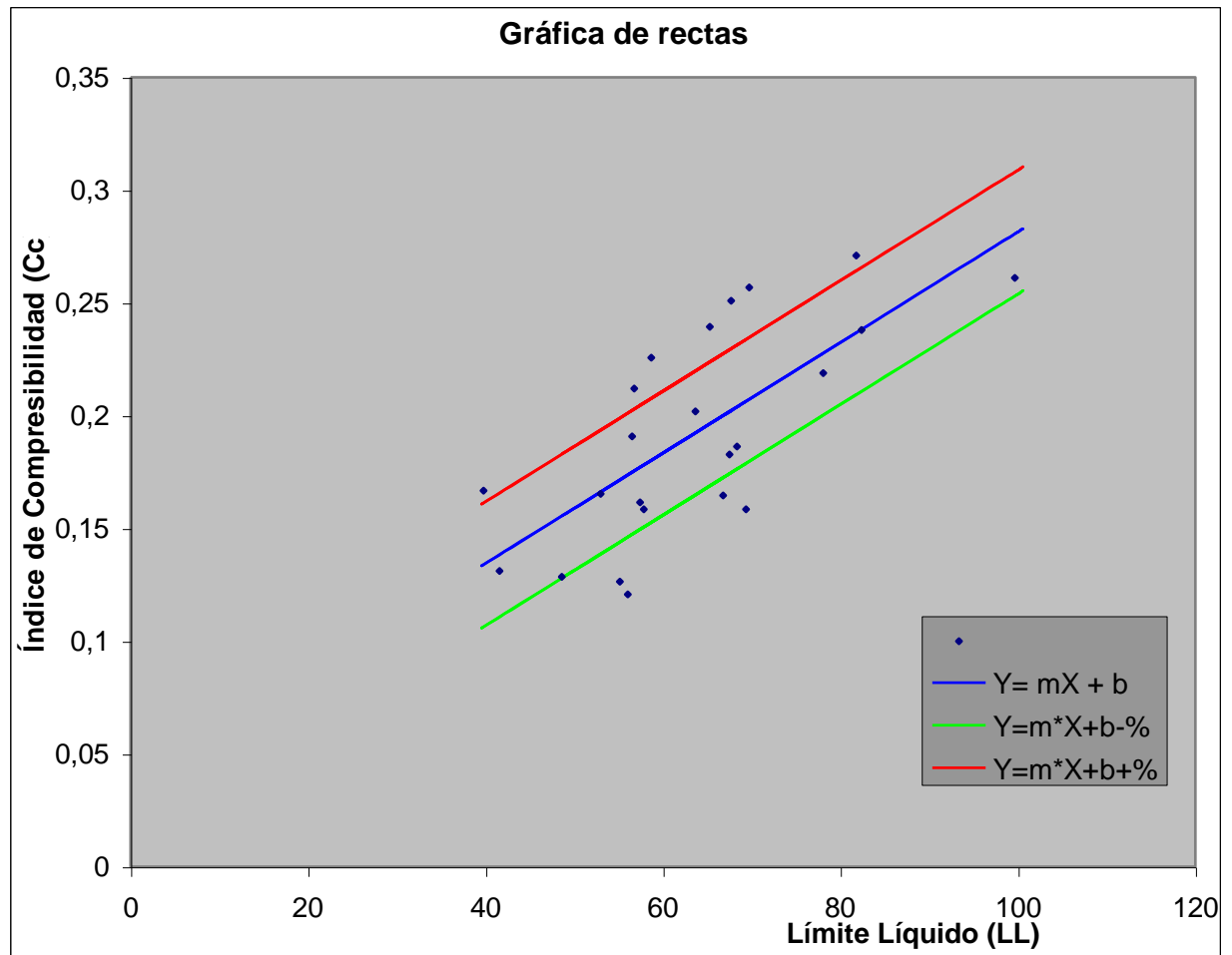


Figura 6. Rectas producto del análisis matemático con los datos depurados.

Finalmente se realiza una nueva depuración de los datos, y con ellos se realizan los cálculos respectivos, estos ya son definitivos para la ecuación final de la recta.

Los resultados son los siguientes:

$m=0.00237204$, $b=0.03231951$, % de error= 0.0133702875 y un índice de correlación $r=0.94657$. Estos parámetros dan como resultado la ecuación:

$$Y=0.00237204*X + 0.03231951$$

Donde:

Y = índice de Compresibilidad.

X = Límite Líquido.

La ecuación resultante es del tipo ($Y=mX + b$) y la obtenida en otras investigaciones que representan la correlación entre el Límite Líquido y el índice de Compresibilidad posee la estructura $Y=a *(X \pm c)$.

Para efectos de una eficaz comparación entre el modelo matemático determinado y los modelos obtenidos en el pasado, es importante que la estructura de las ecuaciones mantenga una semejanza. Esto es, la ecuación que se ha determinado sea modelada teniendo en cuenta la estructura $Y = a *(X \pm b)$.

Como $m = a$ y $c = \frac{b}{m}$, la ecuación queda expresada de la siguiente

manera:

$$Y = 0.002372*(X + 13.6252)$$

En la figura 7, se muestran los puntos con los cuales se inicio el análisis y además la recta que se ha determinado.

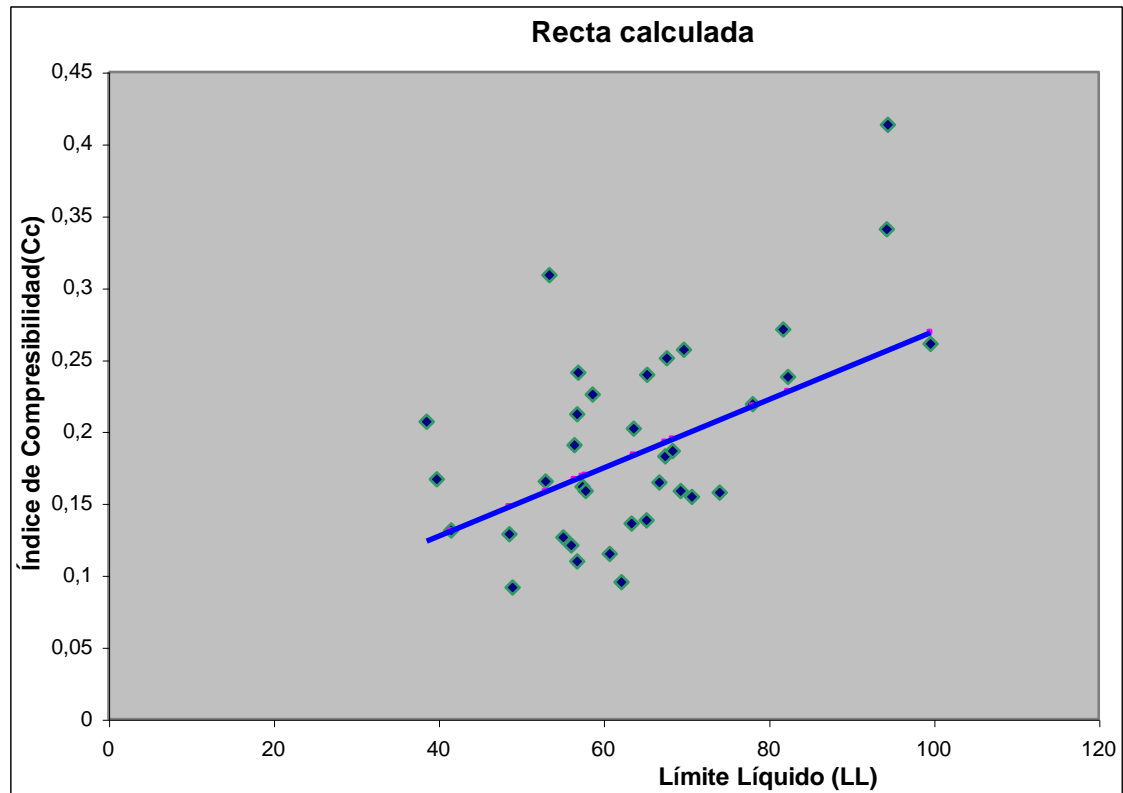


Figura 7. Gráfica de la recta determinada con los puntos que la originaron.

Ahora, expresando lo anterior en función de las variables Límite Líquido e Índice de Compresibilidad, el modelo se puede escribir como:

$$Cc = 0.0024*(LL + 13.63)$$

Este modelo resultante, es bastante parecido a los obtenidos en las investigaciones anteriores realizadas en la ciudad. Existe una pequeña diferencia que puede ser atribuida a la zona específica en donde se recolecto la información experimental.

Es apropiado realizar una comparación tabulada de los valores que se obtienen con los tres modelos matemáticos que se presentan. En el cuadro 7 se muestra la diferencia en realizar los cálculos de los índices de Compresibilidad con cada uno de los modelos.

Cuadro 7. comparación entre las correlaciones existentes

Límite Líquido	$C_c=0,009(LL-10)$	$C_c=0,0029(LL+14)$	$C_c=0,003(LL+14)$	$C_c=0,0024(LL+13,63)$
10	0	0,0696	0,072	0,0567
15	0,045	0,0841	0,087	0,0687
20	0,090	0,0986	0,102	0,0807
25	0,135	0,1131	0,117	0,0927
30	0,180	0,1276	0,132	0,1047
35	0,225	0,1421	0,147	0,1167
40	0,270	0,1566	0,162	0,1287
45	0,315	0,1711	0,177	0,1407
50	0,360	0,1856	0,192	0,1527
55	0,405	0,2001	0,207	0,1647
60	0,450	0,2146	0,222	0,1767
65	0,495	0,2291	0,237	0,1887
70	0,540	0,2436	0,252	0,2007
75	0,585	0,2581	0,267	0,2127
80	0,630	0,2726	0,282	0,2247
85	0,675	0,2871	0,297	0,2367
90	0,720	0,3016	0,312	0,2487
95	0,765	0,3161	0,327	0,2607
100	0,810	0,3306	0,342	0,2727

Lógicamente los resultados obtenidos con el modelo que se ha determinado en esta investigación son menores, debido a que las constantes que se encuentran en el modelo son más pequeñas que las que se encuentran en los otros modelos.

7.2 ANÁLISIS FÍSICO

A manera de ejemplo, se realiza un ejercicio en donde se determinan los asentamientos por consolidación sufridos por una masa de suelo.

Para el cálculo de estos asentamientos, el índice de Compresibilidad se determina haciendo uso de los modelos matemáticos existentes y el determinado en esta investigación, para poder realizar una comparación real de cómo varían los asentamientos dependiendo el modelo que se utilice para determinar el índice de Compresibilidad.

Para el cálculo de los asentamientos se tiene:

$$P_o = 15.73 \text{ Ton/m}^2$$

$$\Delta P = 0.1065 \text{ Ton/m}^2$$

$$e_o = 1.035$$

$$H_o = 8 \text{ mt.}$$

$$LL = 57.82$$

La determinación de los asentamientos se hace utilizando el siguiente modelo matemático:

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} * \left[\log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right] * H_o$$

teniendo en cuenta el orden como están calculados los C_c , la magnitud de los asentamientos es:

Cuadro 8. Resumen de cálculo de los asentamientos

Modelo	Ecuación	C_c	Asentamiento (mm)
Tezaghi	$C_c = 0.009 * (LL - 10)$	0.43038	4.958
Villa-Lleras	$C_c = 0.0029 * (LL + 14)$	0.20828	2.399
Sabbagh-Marimón	$C_c = 0.003 * (LL + 14)$	0.21546	2.482
Nuevo	$C_c = 0.0024 * (LL + 13.62)$	0.17146	1.975

En el cuadro anterior se observan los cálculos de los asentamientos, utilizando varios modelos para determinar el C_c .

Se observa claramente que cuando se realiza el cálculo con el modelo de terzaghi, se tienen asentamientos bastante altos, del orden de 2.5 veces los determinados con el nuevo modelo. Esto se puede atribuir a lo conservador del modelo de terzaghi.

Los modelos anteriores expresados para arcillas de la ciudad de Barranquilla, guardan similitud con el nuevo modelo, sin embargo, los asentamientos calculados con esos modelos proporcionan magnitudes mayores que con el nuevo, si bien es cierto estas magnitudes no son muy grandes, si son significativas al momento de calcular los asentamientos diferenciales, pues la Norma Sismo Resistente del 98, expone unas limitantes para este tipo de asentamientos y es posible que 1.0 mm de asentamientos diferenciales afecten el diseño de las cimentaciones e inclusive parte del diseño estructural.

Con esto se demuestra que el modelo de Terzaghi es demasiado conservador para utilizarlo en la ciudad de Barranquilla, es seguro que, si se utiliza, se incurre en un sobrediseño tanto de las cimentaciones como de la estructura, y esto por lo tanto siempre genera mayor inversión económica.

Con respecto a los modelos anteriores, no existe diferencia apreciable con el nuevo. Sin embargo, se debe tener en cuenta para motivo de los asentamientos diferenciales.

CONCLUSIONES

Cada vez que el hombre encuentra la manera de solucionar sus problemas de una manera más eficiente y que represente un considerable ahorro de su tiempo y de sus recursos, estará encaminándose hacia el desarrollo social.

Se tuvo la inquietud de llevar a cabo una investigación encaminada precisamente a buscar la manera de minimizar la inversión de tiempo y dinero en la solución de los problemas. Específicamente se plantea la necesidad de encontrar de una manera más fácil y rápida el Índice de Compresibilidad, parámetro necesario para el cálculo de los asentamientos que pueden sufrir los suelos.

Luego de la realización de muchos ensayos de laboratorio y de una recolección de información proveniente de otras fuentes, se logro a través de un análisis estadístico llegar a un modelo matemático que relaciona el Índice de compresibilidad en función del Límite Líquido. La muestra estadística con que se ha trabajado es bastante significativa, lo que garantiza una buena confiabilidad.

Los modelos matemáticos anteriores: $C_c=0.0029(LL + 14)$, y $C_c=0.003(LL + 14)$, solo difieren en 0.0001 en el coeficiente. Pero

al compararlos con la ecuación encontrada en esta investigación, $C_c=0.0024(LL + 13.63)$ se tiene una diferencia de 0.0006 para el coeficiente y de 0.37 en el termino que suma al LL, esto tiene como consecuencia que calculando el C_c con la ecuación determinada, los asentamientos por consolidación son más pequeños que pueden implicar edificaciones menos rígidas y por consiguiente más económicas.

RECOMENDACIONES

Resulta satisfactorio haber llegado al punto de proponer un nuevo modelo matemático que represente la correlación entre el Límite Líquido y el Índice de compresibilidad en las arcillas de Barranquilla, de parte de los investigadores solo queda formular unas recomendaciones en cuanto a la investigación y sus resultados.

Primero estimular a nuevas personas a desarrollar este tipo de proyectos, para lograr en un futuro contar con un modelo generalizado que haya sido logrado sobre la base de una muestra estadística mucho mayor.

Por otra parte se está en la capacidad de afirmar que este modelo puede ser utilizado para determinar la magnitud de los asentamientos por consolidación en la ciudad de Barranquilla.

BIBLIOGRAFÍA

BOWLES, Joseph. Manual de Laboratorio de suelos en Ingeniería Civil. México D.F. : McGraw-Hill, 1981. 213 p.

DAS, Braja M. Principios de ingeniería de cimentaciones. 4ª ed. México D. F. : International Thomson Editores S.A., 2001. p. 15-17, 36-54, 240-253.

------. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. México D.F. : International Thomson Editores S.A., 2001. p. 17-35, 151-187, 391-416, 422.

DEL TORO, Donaldo. **SANTODOMINGO**, Antonio. Estudio Geotécnico de la costa Atlántica. Barranquilla : Programa de Ingeniería Civil. Corporación Universitaria de la Costa. 1982.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Santa fe de Bogotá : ICONTEC., 2001. 132 p. NTC. 1486.

LAMBE, William. Mecánica de suelos. 2ª ed. México D.F. : Editorial Limusa S.A. de C.V., 1998. p. 45-46, 315-337, 401, 441, 442, 479, 483, 514.

NSR-98. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo-resistente. Santa fe de Bogotá: 3R Editores, 1999. p. 921-942.

SABBAGH, Arnoldo. **MARIMÓN** Antonio. Estudio Geotécnico de la Costa. Barranquilla, Corporación Universitaria de la Costa, 1981.

TERZAGHI, Karl. **PECK**, Ralph. Mecánica de suelos en la Ingeniería practica. 2ª ED. Barcelona : Editorial El Ateneo S.A., 1973. p. 29-43, 61-80.

VILLA, Gustavo. **LLERAS**, Sigifredo. Determinación de los Índices de Compresibilidad y Expansión en las arcillas Barranquilla. Barranquilla. Programa de Ingeniería Civil. Corporación Universitaria de la Costa. 1981.

WHITLOW, Roy. Fundamentos de mecánica de suelos. 1ª ED.
México D.F.: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. 1994.
p. 37, 40-42, 427-434.